

MENU

SEARCH

INDEX

DETAIL

1/1



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number: 10312198

(43)Date of publication of application: 24.11.1998

(51)Int.Cl.

G10L 9/14
H04B 14/04

(21)Application number: 10059516

(71)Applicant:

NIPPON TELEGR & TELEPH CORP <NTT>

(22)Date of filing: 11.03.1998

(72)Inventor:

HAYASHI SHINJI
KURIHARA SACHIKO
KATAOKA AKITOSHI

(30)Priority

Priority number: 09 59466 Priority date: 13.03.1997 Priority country: JP

(54) VOICE CODING METHOD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To reduce a bit rate without degrading the voice quality so much by constituting respective noise component vectors constituting a noise code book with pulses of unit amplitude of not larger than specific values every subframe and determining positions of vectors so that the distortion of a synthetic voice becomes minimum from plural obtainable positions which are preliminarily determined in each frame.

SOLUTION: Noise component vectors are expressed with two pulses #0, #1 every subframe and the pulse #0 gives 16 pieces of obtainable positions by 4 bits and the pulse #1 gives 32 pieces of obtainable positions by 5 bits. One-bit polarity bits are respectively given to these pulses #0, #1. The code book of the noise component vectors by this pulse constitution has 211 pieces of vectors and the searching of these pulses is performed so that the distortion with respect to input voice waveform vectors of voice which are synthesized by making the noise component vectors exciting vectors becomes minimum. Thus, the number of bits to be assigned to the coding of the noise component vectors in one frame is reduced.

励振パルス位置

パルス番号	トラック	位置
#0	0	0, 2, 5, 7, 10, 12, 15, 17, 20, 23, 25, 27, 30, 32, 35, 37
#1	1	1, 3, 6, 8, 11, 13, 16, 18, 21, 23, 25, 28, 31, 33, 36, 38
	2	4, 9, 14, 19, 24, 29, 34, 39

This Page Blank (uspto)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-312198

(43) 公開日 平成10年(1998)11月24日

(51) IntCl.⁶

識別記号

F I

G 1 0 L 9/14

G 1 0 L 9/14

J

G

H 0 4 B 14/04

H 0 4 B 14/04

B

審査請求 未請求 請求項の数24 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平10-59516

(22) 出願日 平成10年(1998) 3月11日

(31) 優先権主張番号 特願平9-59466

(32) 優先日 平 9 (1997) 3月13日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都新宿区西新宿三丁目19番 2 号

(72) 発明者 林 伸二

東京都新宿区西新宿三丁目19番 2 号 日本

電信電話株式会社内

(72) 発明者 栗原 祥子

東京都新宿区西新宿三丁目19番 2 号 日本

電信電話株式会社内

(72) 発明者 片岡 章俊

東京都新宿区西新宿三丁目19番 2 号 日本

電信電話株式会社内

(74) 代理人 弁理士 草野 卓

(54) 【発明の名称】 音声符号化方法

(57) 【要約】

【課題】 国際標準G.729に従った音声符号化において音声品質を劣化させずにビットレートを低減する。

【解決手段】 G.729 に従ったACELP 音声符号化方法であり、雑音成分ベクトルの符号化において、各フレームを構成する2つのサブフレームに対し雑音符号帳を構成する各雑音成分ベクトルをサブフレーム毎に3つ以下の単位振幅のパルスで構成し、それらの位置を各サブフレーム内で予め決めた取り得る複数の位置から歪が最小となるように決める。

ACELPの励振パルス構造

パルス番号	トラック	位置
#0	0	0, 2, 5, 7, 10, 12, 15, 17, 20, 22, 25, 27, 30, 32, 35, 37
#1	1	1, 3, 6, 8, 11, 13, 16, 18, 21, 23, 26, 28, 31, 33, 36, 38,
	2	4, 9, 14, 19, 24, 29, 34, 39

図 6

【特許請求の範囲】

【請求項1】 LSP係数と、ピッチ成分ベクトルと、雑音成分ベクトルと、上記ピッチ成分ベクトルと雑音成分ベクトルに対する利得ベクトルとをそれぞれLSP符号帳、適応符号帳、雑音符号帳、及び利得符号帳を使用してフレーム毎に入力音声波形ベクトルに対する歪が最小となるよう符号化するACELPによる音声符号化方法であり、

上記雑音成分ベクトルを符号化するステップは各フレームを構成する2つのサブフレームに対し雑音符号帳を構成する各雑音成分ベクトルをサブフレーム毎に3つ以下の単位振幅のパルスで構成し、それらの位置を各サブフレーム内で予め決めた取り得る複数の位置から歪が最小となるように決める。

【請求項2】 請求項1の音声符号化方法において、上記雑音符号帳として、ランダム信号又は学習により生成されたパルス位置を規定する励振ベクトルからなる形状符号帳と、それらのパルスの極性とから構成された雑音符号帳を使用する。

【請求項3】 請求項1の音声符号化方法において、上記雑音符号帳として2つのサブベクトルで表現する共役構造の雑音符号帳を用いる。

【請求項4】 請求項1の音声符号化方法において、上記雑音符号帳の各雑音成分ベクトルは2つのサブベクトルからなり、それぞれのサブベクトルは単位振幅の2つのパルスから構成されている。

【請求項5】 請求項1の音声符号化方法において、上記雑音符号帳の各雑音成分ベクトルは2つのサブベクトルからなり、それぞれのサブベクトルは単位振幅の3つのパルスから構成されている。

【請求項6】 請求項1の音声符号化方法において、上記雑音符号帳の各雑音成分ベクトルは2つのサブベクトルからなり、それら2つのサブベクトルはそれぞれ単位振幅の2つのパルスと3つのパルスから構成されている。

【請求項7】 請求項1の音声符号化方法において、上記雑音符号帳での上記雑音成分ベクトルの探索は、最適なピッチ利得の値が予め決めた値を越えた場合に、上記雑音成分ベクトルをピッチ成分ベクトルに対し直交化して探索を行い、上記ピッチ利得が上記予め決めた値を越えない場合は直交化を行わないで探索を行う。

【請求項8】 請求項2～6のいずれかの音声符号化方法において、上記雑音符号帳に対するビット割当てだけを削減して6.4kbit/sの音声符号化を実施する。

【請求項9】 請求項1の音声符号化方法において、上記利得符号帳として6ビットのベクトル量子化された利得符号帳を使用する。

【請求項10】 請求項1の音声符号化方法において、上記利得符号帳として共役構造の3+3ビットの利得符号帳を使用する。

【請求項11】 請求項9又は10の音声符号化方法において、上記利得符号帳は、上記G.729による符号帳作成に使用された伝送路誤り率より小さい誤り率を使って学習により作成されたものを使用する。

【請求項12】 請求項11の音声符号化方法において、上記利得符号帳の作成に使用される伝送路誤り率は0.5%より小である。

【請求項13】 請求項1の音声符号化方法において、上記ピッチ成分ベクトルの符号に対しパリティビット無しでビットを割り当てる。

【請求項14】 請求項1又は13の音声符号化方法において、上記LSP符号化は、第1のLSP符号帳を使用する第1段目の符号化ステップと、第2のLSP符号帳を使用する第2段目の符号化ステップを含み、上記第2のLSP符号帳のビット数はG.729における第2LSP符号帳のビット数10より小とされている。

【請求項15】 請求項14の音声符号化方法において、上記第2のLSP符号帳として、上記G.729における第2LSP符号帳の一部を使用する。

【請求項16】 請求項14の音声符号化方法において、上記第2のLSP符号帳として、学習により新たに生成したLSP符号帳を使用する。

【請求項17】 請求項14、15又は16の音声符号化方法において、上記第2のLSP符号帳を構成する各ベクトルはその低次側及び高次側の一方又は両方のビット数が5ビットより小とされている。

【請求項18】 請求項17の音声符号化方法において、上記雑音符号帳として、ランダム信号又は学習により生成されたパルス位置を規定する励振ベクトルからなる形状符号帳と、それらのパルスの極性とから構成された雑音符号帳を使用し、全体として6.4kbit/s音声符号化を実現している。

【請求項19】 請求項17の音声符号化方法において、上記雑音符号帳として2つのサブベクトルで表現する共役構造の雑音符号帳を用いており、全体として6.4kbit/s音声符号化を実現している。

【請求項20】 請求項17の音声符号化方法において、上記雑音符号帳の各雑音成分ベクトルは2つのサブベクトルからなり、それぞれのサブベクトルは単位振幅の2つのパルスから構成されており、全体として6.4kbit/s音声符号化を実現している。

【請求項21】 請求項17の音声符号化方法において、上記雑音符号帳の各雑音成分ベクトルは2つのサブベクトルからなり、それぞれのサブベクトルは単位振幅の3つのパルスから構成されており、全体として6.4kbit/s音声符号化を実現している。

【請求項22】 請求項17の音声符号化方法において、上記雑音符号帳の各雑音成分ベクトルは2つのサブベクトルからなり、それら2つのサブベクトルはそれぞれ単位振幅の2つのパルスと3つのパルスから構成され

ており、全体として6.4kbit/s 音声符号化を実現している。

【請求項23】 請求項17の音声符号化方法において、上記利得符号帳として共役構造の3+3ビットの利得符号帳を使用する。

【請求項24】 請求項17の音声符号化方法において、上記雑音符号帳での上記雑音成分ベクトルの探索は、最適なピッチ利得の値が予め決めた値を越えた場合に、上記雑音成分ベクトルをピッチ成分ベクトルに対し直交化して探索を行い、上記ピッチ利得が上記予め決めた値を越えない場合は直交化を行わないで探索を行う。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、ITU国際標準8kbit/s 音声符号化方式CS-ACELP(G.729)と同じ構成を有し、更に低いビットレートの音声符号化を行うための符号化方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】ディジタル移動通信等の分野では、電波の有効利用等を図るため、種々高能率符号化方法が用いられている。8kbit/s程度の情報量で符号化する方法としては、CELP(符号駆動型線形予測)、VSELP(ベクトル加算駆動型線形予測)、CS-ACELP等が知られている。

【0003】それぞれの技術については、M.R.Schroeder and B.S. Atal "Code-Excited Linear Prediction(CELP):High quality Speech at Very Low Rates" Proc. ICASSP'85, 25.1.1, pp.937-940, 1985(文献1)、I. A.Gerson and M.A.Jasiuk."Vector Sum Excited Linear Prediction (VSELP) Speech Coding at 8kps" Proc ICASSP'90, S9.3, pp.461-464, 1990(文献2)、A.Katakoka et al "ITU-T8kbit/s Standard Speech Codec for Personal Communication Services" Int. Conf.on Universal Personal communication, pp.818-822, 1995(文献3)等に述べられている。特に、8kbit/s国際標準G.729(CS-ACELP)については、ITU-T Recommendation: G.729 Coding of speech at 8kbit/s using conjugate-structure algebraic code excited linear prediction (CS-ACELP), COM15-152-E, July, 1995(文献4)に詳細に述べられている。

【0004】図1はこれらの方式で用いる符号化器の一例を示すもので、図中、11は入力端子、12は加算器、13は減算器、14はフィルタ係数決定部、15はフィルタ係数量子化部、16は合成フィルタ、17は聴覚重み付けフィルタ、18は歪みパワー計算部、19は符号出力部、21は適応符号帳、22は雑音符号帳、23は予測利得部、24は利得部、25は利得予測部、26は符号帳探索部、27は利得符号帳、28はLSP符号帳である。

【0005】図1において、入力端子11に与えられた入力音声信号波形のサンプル列から10msのフレーム毎に

取り込んだ所定数のサンプル(以下音声波形ベクトルと呼ぶ)によりフィルタ係数決定部14で線形予測係数(LPC係数と呼ぶ)を計算し、フィルタ係数量子化部15でLPC係数をLSP係数に変換してからLSP符号帳28を参照して量子化し、量子化LSP係数の量子化符号 I_{sp} を出力すると共に、その量子化LSP係数をLPC係数に変換し、フィルタ係数として合成フィルタ16に設定する。

【0006】適応符号帳21には過去の複数のフレームの励振ベクトルを適応的に変化するピッチ成分ベクトルとして保持しており、これら複数のピッチ成分ベクトルから選択したピッチ成分ベクトル候補Pと、雑音符号帳22の複数の固定的な雑音成分ベクトル(乱数ベクトル)から選択した雑音成分ベクトル候補Cとに利得符号帳27から選択した利得ベクトル候補 $g=(g_p, g_n)$ を構成する利得 g_p, g_n を利得部24の乗算器24P, 24Nでそれぞれ乗算した後、加算器12で加算して合成フィルタ16に励振ベクトルとして供給し、音声合成する。利得予測部25は過去の雑音成分ベクトルよりおおよその利得を予測して、予測利得部23にセットする。

【0007】合成音声は減算器13で入力音声波形ベクトルXから減算され、得られた誤差ベクトルは聴覚重み付けフィルタ17により聴覚重み付けされ、歪みパワー計算部18に与えられる。歪みパワー計算部18は聴覚重み付け誤差(歪)のパワーを計算し、符号帳探索部26で、歪みパワーが最も小さくなるように適応符号帳21、雑音符号帳22、利得符号帳27のそれぞれの候補ベクトルを選択し、符号出力部19は選択したベクトルを表すそれぞれのインデックス I_p, I_n, I_0 を量子化LSP係数を表す符号 I_{sp} と共に符号化結果として出力する。

【0008】図2は図1の符号化器に対応する復号器の一例を示すもので、図中、31は入力端子、32は加算器、33はフィルタ係数復号化部、34は合成フィルタ、35は適応符号帳、36は雑音符号帳、37は予測利得部、38は利得部、39は利得予測部、41は利得符号帳である。図2において、受信した符号 I_{sp} からフィルタ係数復号部33でLSP係数を復号し、それをLPC係数に変換して合成フィルタ34にフィルタ係数として設定する。受信した符号 I_0 は利得符号帳41で利得ベクトル (g_p, g_n) に復号され、利得部38の乗算器38P, 38Nに利得 g_p, g_n として設定される。

【0009】一方、受信した符号 I_p, I_n に対応してそれぞれ適応符号帳35、雑音符号帳36からピッチ成分ベクトルP、雑音成分ベクトルCが読み出される。ピッチ成分ベクトルPは利得部38で利得 g_p が乗算され、雑音成分ベクトルCは利得予測部39で予測された利得で予測利得部37により適応的に利得調整され、更に利得部38で利得 g_n が乗算される。利得部38からのこれら利得制御されたピッチ成分ベクトルと雑音成分ベクトル

ルは加算部 32 で合成され、励振ベクトルとして合成フィルタ 34 に与えられ、復号音声が出力される。

【0010】図 3 は G.729 におけるそれぞれのパラメータに対する符号化のためのビット分配を示す。G.729 ではフレーム長は 10ms であり、フレーム当たり 80 ビットが使用される。そのうち LSP 係数の符号化には 18 ビットが割り当てられる。LSP 係数の符号化は図 4 に示すように、2 段のベクトル量子化により量子化される。1 段目のベクトル量子化では、128 候補 (7 ビット) を有する第 1 段目の LSP 符号帳を使った 10 次元ベクトル量子化を行う。2 段目では、10 ビットのベクトル量子化を行うものであり、それぞれ 32 候補 (5 ビット) を有する高次側と低次側の 2 つの LSP 符号帳を用い、それぞれ 5 次元ベクトル量子化を行う。予測係数の選択には 1 ビットが割り当てられている。

【0011】適応符号帳 21 を使ったピッチ成分ベクトルの符号化には、フレームを 5ms の第 1 サブフレームと 5ms の第 2 サブフレームに分け、第 1 サブフレームには 8 ビットとパリティ 1 ビットが割り当てられ、第 2 サブフレームには 5 ビットが割り当てられる。雑音符号帳 22 を使った雑音成分ベクトルの符号化には各サブフレームに 4 つのパルスの極性に対する 4 ビットを含む 17 ビットが割り当てられている。

【0012】図 5 は G.729 における雑音符号帳を使った雑音成分ベクトルの符号化に使用されている雑音励振パルス構造を各サブフレームに 4 つのパルスで実現する場合の、4 つのパルスの取り得る予め決めた位置を示す。即ち、40ms のサブフレーム内で例えば 1ms 間隔で 0~39 番までの位置を規定し、これら 40 個の位置をパルス #0~#3 に対し、G.729 による図 5 の表で示すように分配している。この表から明らかなように、パルス #0, #1, #2 に対してはトラック 0, 1, 2 でそれぞれ 8 つの取り得る位置が割り当てられているので、それぞれ 3 ビットで位置を表すことができ、パルス #3 に対しては 2 つのトラック 3, 4 で 16 個の取り得る位置が割り当てられているので、4 ビットでその位置を表すことができる。従って、各サブフレームの 4 つのパルスの位置情報は 13 ビットで表される。13 ビットのこれら位置情報に加え、4 つのパルスのそれぞれのサイン (極性) をそれぞれ 1 ビットで表しているのので、各サブフレーム全体では 17 ビットが使われている。

【0013】上述した図 1 の符号化器において、利得符号帳 27 を使った利得ベクトルの符号化には、図 3 で示すように各サブフレームで 7 ビットずつ、計 14 ビットが割り当てられている。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】ところで、このような ITU 国際標準 G.729 を用いたコーデックによる通信を行う際、伝送路の状態によって伝送容量が十分確保できないことがあり、通信不能になってしまうという問題があ

った。また、この場合、より伝送容量の少ない符号化方法によって通信を行うことも考えられるが、その場合には全く別の符号化器及び復号器が必要になるという問題があった。従って、国際標準 G.729 と同様の符号構成を使い、音声品質をそれほど低下させずに信号のビットレートを低減することが望まれるが、音声品質を低下させずに符号構成のどの部分に対するビット割当を有効に削減することが可能なか知られていなかった。

【0015】この発明の目的は、国際標準 G.729 に従った音声符号化において、音声品質をそれほど劣化させることなくビットレートを低減できる音声符号化方法を提供することである。

【0016】

【課題を解決するための手段】この発明によれば、LSP 係数と、ピッチ成分ベクトルと、雑音成分ベクトルと、上記ピッチ成分ベクトルと雑音成分ベクトルに対する利得ベクトルとをそれぞれ LSP 符号帳、適応符号帳、雑音符号帳、及び利得符号帳を使用してフレーム毎に入力音声波形ベクトルに対する歪が最小となるよう符号化する ACELP による音声符号化方法であり、上記雑音成分ベクトルを符号化するステップは各フレームを構成する 2 つのサブフレームに対し雑音符号帳を構成する各雑音成分ベクトルをサブフレーム毎に 3 つ以下の単位振幅のパルスで構成し、それらの位置を各サブフレーム内で予め決めた取り得る複数の位置から合成音声の歪が最小となるように決める。

【0017】

【発明の実施の形態】この発明の音声符号化方法も G.729 で使われている図 1 に示した符号化器の使用を前提にしている。国際標準 G.729 は図 1 の符号化システムにおいてフレームが 10ms でフレーム当たり 80 ビットの符号化を用いているが、必要に応じてこれを例えば同じフレームサイズで 6.4kbit/s の符号化を実現するためには符号化に使用するビット数をフレーム当たり 64 ビットに削減しなければならない。即ち、フレーム当たり 16 ビット削減しなければならない。そこで、G.729 で使用される図 3 に示した各フレームの符号構成において、どのパラメータに対するビット割当を削減すれば音声品質の劣化を感知できない範囲で有効に削減でき、6.4kbit/s で最適な符号構成を実現することができるかを検討する必要がある。ただ、6.4kbit/s 符号化は 8kbit/s 符号化 (G.729) の拡張として動作するため、両者の切り換えがスムーズに行わなければならない。つまり、6.4kbit/s でも良い品質であり、8kbit/s との切り換え時に明らかな異音感知されないようにする必要があり、そのような構成を実現する必要がある。

【0018】(例 1) ピッチ成分ベクトルの符号化におけるビット削減

ピッチ成分ベクトルは復号音声品質に大きな影響を及ぼすので、6.4kbit/s 符号化で高品質を実現するため 13

ビットのピッチ情報に付いてはビット削減を行わない。
G.729 では第1サブフレームの8ビットピッチ情報の上位6ビットを1ビットのバリティで保護している。つまり、伝送された来たビットが伝送路の途中で誤ったときにはバリティによってその誤りを検出し、前回のサブフレームのピッチ周期を現サブフレームのピッチ周期として用いる。このバリティビットは誤りがないときには無駄になるので、このバリティビットを削除する。

【0019】(例2) LSP係数の符号化におけるビット削減

G.729 は18ビットのLSP量子化器を用いている。LSP量子化器は4次のフレーム間予測を用いた2ステージのLSP符号帳によって構成されている(文献4)。

$$\begin{aligned} S_n &= S_{1j} + S_{2j}^L \quad \text{for } j = 0, \dots, 4 \\ &= S_{1j} + S_{2j}^H \quad \text{for } j = 5, \dots, 9 \end{aligned} \quad (2)$$

のように2つの符号帳の和で表される。ここで、 S_{1j} は第1段目のLSP符号帳の出力(7ビット)であり、 S_{2j}^L は図3の表で説明した第2段目の低次の出力(5ビ

$$d_{jp} = (\Omega_{in} - \Omega_n)^T W_n (\Omega_{in} - \Omega_n) \quad (3)$$

の歪みが最小となる組み合わせを探索する。 W_n は入力LSP係数から得られる重み係数である。これらのビットのうち、第1段目のLSP符号帳 S_{1j} と予測係数 F_1 は性能を大きく左右する。また、LSP係数は低次の係数ほど音声品質に重要である。

【0023】6.4kbit/s 符号化のために、比較的性能への寄与が少ないと思われる第2段目のLSP符号帳よりビットを削減する。第2段目のLSP符号帳は入力LSPから第1段目のLSP符号帳の出力を引いた残り成分を量子化するため、第2段目のLSP符号帳はランダムな値である。LSP係数は $0 \sim \pi$ の範囲の値を取る。
ケース(1)：第2段目の高次のLSP符号帳 S_{2j}^H のビットを5ビットから1ビット削減して4ビットとし、インデックス番号0~15の16個の符号により形成する。この4ビットのLSP符号帳として8kbit/s 用の5ビットのLSP符号帳から、6.4kbit/s 用の4ビットのLSP符号帳として用いるのにふさわしいコードを選んで用いてもよい。あるいは5ビットLSP符号帳のインデックス0~31の符号から、単に順番にインデックス番号0~15の符号を用いてもよい。

【0024】8kbit/s 符号化(G.729)では第2段目のLSP符号帳を5ビットで最適になるように設計してある。そこで、第2段目のLSP符号帳を4ビットによって最適になるように再学習してもよい。その場合、8kbit/s 用の第2段目高次のLSP符号帳以外に6.4kbit/s 用の第2段目高次のLSP符号帳が必要になる。新しい符号帳に必要なメモリの増加は80ワードである(5次元ベクトル $\times 16 = 80$)。

【0025】ケース(2)：同様に第2段目の高次のLSP符号帳のビットを2ビット削減する(5ビット符号帳を3ビット符号帳にする)。上記と同様に、元のLSP

第nフレームの量子化されたLSP係数 Ω_n は次式

$$[0020]$$

【数1】

$$\Omega_n = F_0 S_n + \sum_{i=1}^4 F_i S_{n-i}, \quad \sum_{i=0}^4 F_i = 1 \quad (1)$$

で与えられる。ここで、 F_i はフレーム間予測のための予測係数の対角行列、 I は単位行列、 S_n は第nフレーム(現フレーム)におけるLSP符号帳を使った第2段目ベクトル量子化出力である。

【0021】LSP符号帳の出力量子化ベクトル S_n は、

$j = 0, \dots, 4$
 $j = 5, \dots, 9$ (2)
ット)、 S_{2j}^H は第2段目の高次の出力(5ビット)である。

【0022】入力LSP係数 Ω_{in} に対し、

符号帳の一部を用いることも可能であり、再学習によって第2段目の高次のLSP符号帳を3ビットで最適なものを作成、用いることもできる。

ケース(3)：第2段目の高次のLSP符号帳 S_{2j}^H ビットを1ビット削減し、低次のLSP符号帳 S_{2j}^L のビットを1ビット削減する(それぞれ5ビット符号帳を4ビット符号帳にする)。

【0026】上記ケース(2)と同様に、元のLSP符号帳の一部を用いることも可能であり、再学習によって第2段目の高次のLSP符号帳と低次のLSP符号帳をそれぞれ4ビットで最適なものを作成し、用いることもできる。また、それらを組み合わせることも可能である。例えば、低次符号帳は再学習を行い、高次符号帳は元の符号帳の一部を用いる。

【0027】(例3) 雑音符号帳からビットを削減する場合

G.729 では図5の表に示したように、各サブフレームの雑音成分ベクトルを4つのパルスで表し、それら4パルス#0~#3の取り得る位置がそれぞれ8、8、8、16個規定されている。これらの位置を表すのに13ビット、各パルスの極性に各1ビットを用いている。この発明では復号音声品質の劣化を感知できない程度に抑えて有効にビット削減を達成できる最も効果的なビット削減の方法として、雑音成分ベクトルの符号化に割り当てるビットの削減を以下のいくつかのケースに示すように行う。

【0028】ケース(1)：図6の表に示すように、雑音成分ベクトルを各サブフレーム毎に2つのパルス#0、#1で表し、パルス#0は4ビットにより16個の取り得る位置を与え、パルス#1には5ビットにより32個の取り得る位置を与える。これらパルス#0、#1に対

しそれぞれ1ビットの極性ビットを与える。従って、各サブフレームに4+5+2=11ビットが割り当てられる。これにより、1フレームで雑音成分ベクトルの符号化に割り当てられるビット数はG.729の34ビットから22ビットに削減される。

【0029】図6に示すパルス構成による雑音成分ベクトルの符号帳は 2^{11} 個のベクトルを有し、パルス位置の探索は、雑音成分ベクトルCを励振ベクトルとして合成フィルタ16で合成した音声の、入力音声波形ベクトル(ターゲットベクトル)Xに対する歪drが最小となるように行われる。この歪drは合成フィルタ16のインパルス応答行列をHとすると、次式

【0030】

【数2】

$$dr = |X|^2 - \frac{(X^T H C_k)^2}{\|H C_k\|^2} = \frac{(d^T C_k)^2}{C_k^T \Phi C_k} \quad (4)$$

で与えられる。ここで、dは X^T とHの間の相関ベクトル $d = H^T X$ であり、 Φ はHの相関行列 $\Phi = H^T H$ である。dと Φ は予め計算しておき、各ベクトル候補 C_k に付いて $dr = (d^T C_k)^2 / C_k^T \Phi C_k$ を計算し、最も小さくなる励振ベクトル(雑音成分ベクトル) C_k を雑音符号帳22から選択する。励振ベクトル C_k は振幅が0、±1のパルスからなるため、式(4)の計算は極性の掛け算と足し算のみでできることは文献(4)のG.729の場合と同様である。このような励振ベクトルの形状符号帳をalgebraic符号帳と呼ぶ。

【0031】パルス位置の探索において、トラック0とトラック1、2の全ての組み合わせに付いて $d^T C_k$ を計算すれば、最適解が発見できるが、演算量を更に削減するため、トラック0のみの位置を先に決定するなどの、簡略化も可能である。

ケース(2): 図7に示す9ビットの雑音符号帳を用いる。その励振パルス構造は図7に示すように、各サブフレームに互いに極性が逆の2つのパルスを設け、各パルスは16個の取り得る位置が与えられている。また、取ることのできない位置が8個規定されている。従って、2つのパルスの位置はそれぞれ4ビットで表され、それら2つのパルスの極性を同時に反転するビットが1ビット設けられている。これにより、各サブフレームには9ビットが割り当てられるので、9ビットの雑音符号帳を用いることにより、ビットをサブフレーム当たり8ビット、フレーム当たり16ビット削減できる。9ビットの雑音符号帳としては、8ビットの形状符号帳と1ビットの極性ビットの構成を用いる。その時、形状符号帳の励振ベクトルとして、ランダム信号をそのまま用いるものや学習によって励振ベクトルを生成することもできる。

【0032】また、雑音符号帳を2つのサブ符号帳に分割して、励振ベクトルを2つのサブベクトルの和で表現する共役構造の符号帳を用いることもできる。例えば、

3ビット形状符号帳と1ビット符号、4ビット形状符号帳と1ビット符号の構成を用いる。また、G.729と同様に励振ベクトルを振幅1のパルスで表現することも可能である。

【0033】ケース(3): 図8に示す10ビットの雑音符号帳を用いる。図8に示す10ビットの雑音符号帳も図7の場合と同様に各サブフレームが2つのパルスにより成る雑音成分ベクトルで構成されているが、図8の場合、2つのパルスの極性は互いに独立に選択できるよう各パルスに対し1ビットの極性ビットが設けられている。この雑音符号帳を用いることにより、ビットをサブフレーム当たり7ビット、フレーム当たり14ビット削減できる。10ビットの雑音符号帳としては、9ビットの形状符号帳と各パルスに1ビットの極性ビットの構成を用いる。その時、形状符号帳の励振ベクトルとして、ランダム信号をそのまま用いるものや学習によって励振ベクトルを得ることもできる。

【0034】また、雑音符号帳を2つのサブ符号帳に分割して、励振ベクトルを2つのサブベクトルの和で表現する共役構造の符号帳を用いることもできる。例えば、4ビット第1形状サブ符号帳と1ビット符号、4ビット第2形状サブ符号帳と1ビット符号の構成を用いる。また、G.729と同様に励振ベクトルを振幅1のパルスで表現することも可能である。

【0035】ケース(4): 図9に示す11ビットの雑音符号帳を用いる。図9の例ではサブフレームを3つのパルスで構成し、パルス#0と#1にはそれぞれ8つの取り得る位置を与え、パルス#2には16個の取り得る位置を与えている。従って、これら3つのパルスの位置に3+3+4=10ビットが割り当てられている。3つのパルスの相対極性は予め決められており、例えばパルスi0、i1が正、パルスi2が負であり、これら3つのパルスの極性を同時に反転制御するビットが1ビット設けられている。この11ビットの雑音符号帳を用いることにより、ビットをサブフレーム当たり6ビット、フレーム当たり12ビット削減できる。11ビットの雑音符号帳としては、10ビットの形状符号帳と1ビットの符号ビットの構成を用いる。その時、形状符号帳の励振ベクトルとして、ランダム信号をそのまま用いるものや学習によって励振ベクトルを得ることもできる。

【0036】また、雑音符号帳を2つのサブ符号帳に分割して、励振ベクトルを2つのサブベクトルの和で表現する共役構造の符号帳を用いることもできる。例えば、5ビット形状符号帳と1ビット符号、4ビット形状符号帳と1ビット符号の構成を用いる。また、G.729と同様に励振ベクトルを振幅1のパルスで表現することも可能である。

【0037】また、図9を常に3パルスとして用いるのではなく、2パルス或いは3パルス用としても用いることもできる。図10にその場合の配置の例を示す。つま

り、ポジション38にはパルスは設定せず、i2が38を示すときにはi0とi1のみを用いることを意味する。また、i1が37の時には、i0とi2のみを用いることを意味する。この時、i2は38には設定しない。さらに、i0が35の時には、i1とi2のみを用いることを意味する。但し、この時、i1は37には設定しない。このような規則に従って探索を行うことにより、2パルス或いは3パルスの組み合わせの中から最適なものを探す。

【0038】(例4)雑音符号帳の探索の例

6.4kbit/s 符号化の品質を向上させるため、雑音励振ベクトルの探索に条件付き直交化を導入する。CELP符号化では雑音符号帳の探索を行う時、前述のように雑音符号帳22の第k番目の雑音成分ベクトル C_k を励振ベクトルとして合成フィルタ16に与え(即ち利得 $g_k=0$, $g_1=1$ に設定する)、その出力合成音声 $H C_k$ の、入力音声ベクトル(ターゲットベクトル) X に対する前述の式(4)で与えられる歪が最も少なくなる励振ベクトル(雑音成分ベクトル) C_k を選択する。

【0039】雑音成分ベクトルをピッチ成分ベクトルと合成して使用し、入力音声を符号化する場合、ピッチ成分ベクトルを決定した後、それを考慮して最適な雑音成分ベクトルを雑音符号帳から探索するため、合成フィルタ16の出力において雑音成分ベクトル中に含まれているピッチ成分ベクトルと平行な成分を除去する(直交化することにより合成音声の品質を高めることができる)ことが知られている。

【0040】ピッチ成分ベクトル P に対して直交化された雑音励振ベクトル $H^T C_k$ は次式で与えられる。

【0041】

【数3】

$$H^T C_k = H C_k - \frac{(H C_k)^T H P}{\|H P\|^2} H P \quad (5)$$

励振ベクトルの利得に最適なものが与えられた時、ターゲットベクトル X と合成音声の間の歪 dr は

【0042】

【数4】

$$dr = |X|^2 - \frac{(X^T H^T C_k)^2}{\|H^T C_k\|^2} \quad (6)$$

で表される。従って、歪を最小にするには式(6)の右辺の第2項

【0043】

【数5】

$$\frac{(X^T H^T C_k)^2}{\|H^T C_k\|^2} \quad (7)$$

$$g_{P_opt} \geq g_{th}$$

の条件を満たす時にのみ直交化探索を行う。閾値 g_{th} の値としては、例えば0.5を用いる。また、切り換えの条

が最大となる雑音成分ベクトル C_k を探索する。式(6)の分子は

【0044】

【数6】

$$X^T H^T C_k = \hat{X}^T H C_k, \quad \hat{X} = \left\{ X - \frac{X^T H P}{\|H P\|^2} H P \right\} \quad (8)$$

のように変形できる。つまり、ターゲットベクトル X をピッチ成分ベクトル P による励振出力 $H P$ に対して直交化したものと等価である。この変形によって式(4)の分子と同等の演算となる。

【0045】一方、式(7)の分母は次式のようにになる。

【0046】

【数7】

$$\|H^T C_k\|^2 = \|H C_k\|^2 - \frac{(H P^T H C_k)^2}{\|H P\|^2} \quad (9)$$

$1/\|H C_k\|^2 (=A)$ は定数であり、 $(H P)^T H = E$ と置くことによって式(6)は

【0047】

【数8】

$$\|H^T C_k\|^2 = \|H C_k\|^2 - A(E^T C_k)^2 \quad (10)$$

となる。 $E^T C_k$ は E からパルスの位置に該当する点の値をパルスの数だけ足せば求めることができる。以上、直交化することによる演算量の増加は $A(E^T C_k)^2$ の成分だけであり、わずかである。

【0048】雑音励振ベクトルの自由度が高い時は、直交化によって音声品質は向上する。しかし、例えば、図6乃至10のようなalgebraic(形状)符号帳を雑音符号帳として用いた場合には、探索の演算量が少ない代わりに、雑音励振ベクトルのパルス位置の制約が大きいのので、必ずしも品質が向上するとは限らない。そのため、直交化による探索が望ましい場合のみ式(7)による探索を行い、それ以外は式(4)による探索を行うこととする。その切り換えの条件として、ピッチの最適利得 g_{P_opt} を用いる。最適ピッチ利得は与えられる。

【0049】

【数9】

$$g_{P_opt} = \frac{X^T H P}{\|H P\|^2} \quad (11)$$

ピッチ利得が大きいときには、ピッチ成分の寄与が大きいので、ピッチ成分ベクトルに対する直交化は有効である。そのため、

$$(12)$$

件として、

$$Pr = 20 \log\{\|X\|^2 / \|X-HP\|^2\} \quad (13)$$

で表されるピッチの予測利得を用いても良い。ここで、 X は入力音声波形ベクトル、 HP はピッチ波形ベクトルである。上記と同様にピッチの予測利得が大きい時のみ直交化探索を行う。

【0050】(例5)利得符号帳からのビットを削減
G.729 ではサブフレーム当たり、7ビットの利得符号帳を用いてピッチ利得と雑音励振ベクトルの利得を量子化している。それぞれの利得 g_p , g_e は2つのサブ符号帳の和によって表現されている。また、この符号帳を作成する際には、伝送路誤りを考慮して学習を行っている。誤りを考慮した学習を行うことによって、ゲインを表す符号のビットが伝送路の途中で誤っても、その影響は少なくてすむ。その代償として、伝送路誤りのない条件での性能が、伝送路誤りを考慮しないで作成した符号帳を使用した場合に比べて劣化する。

【0051】この発明においては、ゲイン符号帳からビットを削除して、6ビットのゲイン符号帳を作成する。その場合、符号帳のビットが削減されるため、再生音声により品質劣化が生じるので、この実施例ではG.729のゲイン符号帳の作成に用いた誤り率 $err(=0.5\%)$ より小さい誤り率を用いてゲイン符号帳を作成することによって、7ビット符号帳の場合に比べて、品質の劣化を少なく押さえることができる。また、この新しい符号帳は6ビット一括のベクトル量子化を行う1つの符号帳として構成してもよいし、G.729と同様に、3ビットずつの2つの符号帳に分割して構成してもよい。2つの符号帳を用いる場合には、新しいゲイン符号帳によりメモリ量の増加はわずか32ワードである($8 \times 2 \times 2 = 32$)。

【0052】(例6)6.4kbit/sの符号化器の例
上記の検討の結果、以下の符号化器を設計した。

ケース(1): 雑音符号帳のみからビットを削減する。雑音符号帳のみからビットを削減して9ビットの雑音符号帳を用いる。図11のCoder Aに、雑音符号帳に9ビット(形状に8ビット、極性に1ビット)のシングル雑音符号帳を用いた場合のそれぞれのパラメータの符号化に対するビット割当の例を示す。図12のCoder Dに、雑音符号帳に9ビット(形状に4+3ビット、極性に1+1ビット)の供役構造の雑音符号帳を用いた場合のそれぞれのパラメータの符号化に対するビット割当の例を示す。図13のCoder Gに、雑音符号帳に9ビット(2パルス、各パルス位置に4ビット、2本のパルスに対する極性に1ビット)の雑音符号帳を用いた場合のビット割当の例を示す。

【0053】ケース(2): パリティビットを削減し、LSP符号帳の第2段目の高次のビットを1ビット削減して4ビットとし、10ビットの雑音符号帳を用いる。図11のCoder Bに、雑音符号帳に10ビット(形状に9ビット、極性に1ビット)のシングル雑音符号帳を用いた場合のビット割当の例を示す。図12のCoder Eに、

雑音符号帳に10ビット(形状に4+4ビット、極性に1+1ビット)の供役構造の雑音符号帳を用いた例を示す。図13のCoder Hに、雑音符号帳に10ビット(2パルス、各パルス位置に4ビット、各パルスに対する極性に各1ビット)の雑音符号帳を用いた場合のビット割当の例を示す。

【0054】ケース(3): パリティビットを削減し、LSP符号帳の第2段目の高次のビットを1ビット削減して4ビットとし、ゲイン符号帳を1ビット削減して6ビットとし、11ビットの雑音符号帳を用いる。図11のCoder Cに、雑音符号帳に11ビット(形状に10ビット、極性に1ビット)のシングル雑音符号帳を用いた場合のビット割当の例を示す。図12のCoder Fに、雑音符号帳に11ビット(形状に4+5ビット、極性に1+1ビット)の供役構造の雑音符号帳を用いた場合のビット割当の例を示す。図13のCoder Iに、雑音符号帳に11ビット(3パルス、各パルス位置に3+3+4ビット、3本のパルスに対する極性に1ビット)の雑音符号帳を用いた場合のビット割当の例を示す。この時、11ビットの雑音符号帳として、図10の2、3パルス型を用いることもできる。また、利得符号帳は6ビット一括の符号帳と3+3の供役構造の符号帳のいずれも用いることができる。

【0055】ケース(4): 上記ケース(2),(3)において、パリティビットを削減する代わりにLSP符号帳の第2段目の高次のビットをさらに1ビット、計2ビット削減する構成も可能である(図14のcoder J, K)。
ケース(5): 上記ケース(2),(3)において、パリティビットを削減する代わりにLSP符号帳の第2段目の低次ビットを1ビット削減し4ビットとする構成も可能である(図15のCoder L, M)。

【0056】ケース(6): 上記ケース(1)~(5)において、従来の雑音励振ベクトルの探索[式(4)による探索]を行うこともでき、あるいはピッチ波形に対する直交化探索[式(7)による探索]を行うこともでき、或いは条件によって両者を切り換えて行うこともできる。

評価実験

上記のケース(3)のCoder Iのビット配分において、11ビットの雑音符号帳に2、3パルス型を用い、ピッチの最適ゲインによる探索の切り換えを行う符号化法について主観評価でその性能を評価した。評価は1~5の5段階評価で、被験者は24名である。

【0057】比較のために、他の符号化方法として、24kbit/sのADPCM、8kbit/sのG.729及び6.3kbit/sのG.723.1を用いた。G.723.1はフレーム長が30msと長く、先読み7.5msによる符号化である。今回の6.4kbit/s符号化法はフレーム長が10ms、先読み5msである。結果を図16に示す。基準の入力音声レベル(-26dB)に対して、本発明による方法は雑音成分ベクトルを表すパルス数を

3以下に減らし、符号化のビット割当を大きく削減してもG.723.1と同等の品質を実現していることがわかる。
また、レベルが変動した場合(-16dB,-36dB)でも同等の品質を実現している。また、ランダムビット誤り0.1%の結果より、ピッチパリティを用いなくても大きな劣化が見られない。さらに、10ms毎に6.4kbit/sと8kbit/sを切り換えたときの結果より、切り換えによる劣化が少ないことがわかる。

【0058】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、雑音符号帳を構成する各雑音成分ベクトルの第1及び第2サブベクトルを表すパルスの数を3以下に減らすことにより、音声品質を大きく劣化させずに符号化割当ビット数を減らすことができる。これをG.729(8kbit/s)の他のパラメータに対する符号化のモジュールとテーブルの変更による割当ビットの削減と組み合わせることにより、6.4kbit/s 符号化を実現でき、回線の容量や用途に応じてどちらかのビットレートを選択することができる。これにより、伝送容量が十分確保できない時でも通信を可能にし、また、G.729と共通のモジュールを用いて符号化を実現することによって、メモリ等の増加を少なく抑えながら、必要に応じてビットレートを選択可能とする。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の前提となる国際標準G.729によるCELP符号化器のブロック図。

【図2】図1の符号化器に対応した復号器のブロック図。

【図3】G.729による各フレームにおけるパラメータの符号化に対するビット割当を示す表。

【図4】図3の表におけるLSP係数の符号化に対するビット割当の詳細を示す表。

【図5】図3の表における雑音符号帳の構成例を示す表。

【図6】この発明による11ビットの雑音符号帳の構成例を示す表。

【図7】9ビットの雑音符号帳の構成例を示す表。

【図8】10ビットの雑音符号帳の構成例を示す表。

【図9】11ビットの雑音符号帳の他の構成例を示す表。

【図10】11ビットの雑音符号帳の更に他の構成例を示す表。

【図11】雑音符号帳にシングル雑音符号帳を用いた場合のそれぞれのパラメータに対する符号化のビット割当を示す表。

【図12】雑音符号帳に共役構造の雑音符号帳を用いた場合のそれぞれのパラメータに対する符号化のビット割当を示す表。

【図13】9ビットの雑音符号帳を使用する場合のそれぞれのパラメータに対する符号化のビット割当を示す表。

【図14】LSP符号帳の第2段目の高次のビットを更に削減した場合のそれぞれのパラメータに対する符号化のビット割当を示す表。

【図15】LSP符号帳の第2段目の低次のビットを更に削減した場合のそれぞれのパラメータに対する符号化のビット割当を示す表。

【図16】この発明による音声符号化方法と他の符号化方法に付いて主観評価による性能比較結果を示す表。

【図1】

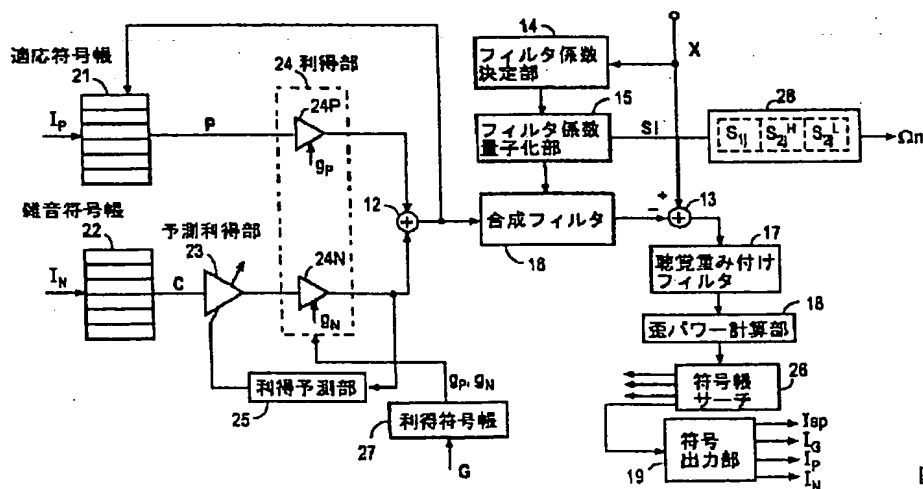


図1

【図 2】

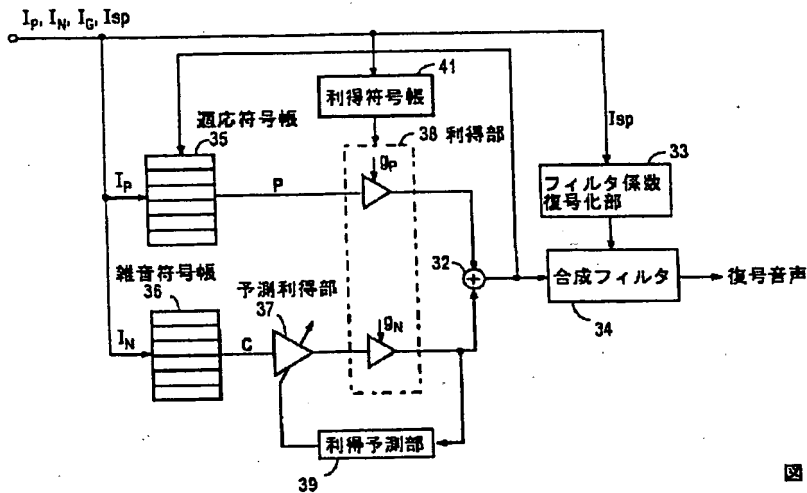


図 2

【図 3】

パラメータ	サブフレーム		フレーム 80 サンプル
	1st	2nd	
LSP	—	—	1+7+5+5
ピッチ成分	8	5	13
ピッチパリティ	1	—	1
雑音成分	13	13	26
極性	4	4	8
利得符号	4+3	4+3	14
合計	—	—	80

図 3

【図 4】

1 段目	10 次元	7
2 段目	低次側 5 次元	5
	高次側 5 次元	5
予測係数選択		1
合計		18

図 4

【図 6】

AGELP の励振パルス構造		
パルス番号	トラック	位置
#0	0	0, 2, 5, 7, 10, 12, 15, 17, 20, 22, 25, 27, 30, 32, 35, 37
#1	1	1, 3, 8, 8, 11, 13, 16, 18, 21, 23, 26, 28, 31, 33, 36, 38, 38
	2	4, 9, 14, 19, 24, 29, 34, 39

図 6

【図 8】

10ビット雑音符号帳		
極性		位置
±1	i0	0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 2, 7, 12, 17, 22, 27, 32, 37
	i1	1, 6, 11, 16, 21, 26, 31, 36 3, 8, 13, 18, 23, 28, 33, 38
パルス無し		4, 9, 14, 19, 24, 29, 34, 39

図 8

【図 9】

11ビット雑音符号帳		
極性		位置
±1	i0	0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35
	i1	2, 7, 12, 17, 22, 27, 32, 37
	i2	1, 6, 11, 16, 21, 26, 31, 36 3, 8, 13, 18, 23, 28, 33, 38
パルス無し		4, 9, 14, 19, 24, 29, 34, 39

図 9

【図 5】

AGELP の励振パルス構造		
パルス番号	トラック	位置
#0	0	0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35
#1	1	1, 6, 11, 16, 21, 26, 31, 36
#2	2	2, 7, 12, 17, 22, 27, 32, 37
#3	3	3, 8, 13, 18, 23, 28, 33, 38
	4	4, 9, 14, 19, 24, 29, 34, 39

図 5

【図 7】

9ビット雑音符号帳		
極性		位置
±1	i0	0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35
	+1	2, 7, 12, 17, 22, 27, 32, 37
	i1	1, 6, 11, 16, 21, 26, 31, 36
	-1	3, 8, 13, 18, 23, 28, 33, 38
パルス無し		4, 9, 14, 19, 24, 29, 34, 39

図 7

【図10】

11ビット雑音符号帳		
極性	位置	
±1	i0	0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, (35)
	i1	2, 7, 12, 17, 22, 27, 32, (37)
	i2	1, 6, 11, 16, 21, 26, 31, 36 3, 8, 13, 18, 23, 28, 33
パルス無し	4, 9, 14, 19, 24, 29, 34, 38, 39	

図10

【図11】

パラメータ	Coder A		Coder B		Coder C	
LSP	1+7+5+5		1+7+5+4		1+7+5+4	
ピッチ	8	5	8	5	8	5
パリティ	1		—		—	
雑音符号帳	8	8	9	9	10	10
極性	1	1	1	1	1	1
利得	4+3	4+3	4+3	4+3	3+3(6)	3+3(6)
合計	64		64		64	

図11

【図12】

パラメータ	Coder D		Coder E		Coder F	
LSP	1+7+5+5		1+7+5+4		1+7+5+4	
ピッチ	8	5	8	5	8	5
パリティ	1		—		—	
雑音符号帳	4+3	4+3	4+4	4+4	4+5	4+5
極性	1+1	1+1	1+1	1+1	1+1	1+1
利得	4+3	4+3	4+3	4+3	3+3(6)	3+3(6)
合計	64		64		64	

図12

【図13】

パラメータ	Coder G		Coder H		Coder I	
LSP	1+7+5+5		1+7+5+4		1+7+5+4	
ピッチ	8	5	8	5	8	5
パリティ	1		—		—	
雑音符号帳	4+4	4+4	4+4	4+4	3+3+4	3+3+4
極性	1	1	1+1	1+1	1	1
利得	4+3	4+3	4+3	4+3	3+3(6)	3+3(6)
合計	64		64		64	

図13

【図14】

パラメータ	Coder J		Coder K	
LSP	1+7+5+3		1+7+5+3	
ピッチ	8	5	8	5
パリティ	1		1	
雑音符号帳	4+4	4+4	3+3+4	3+3+4
極性	1+1	1+1	1	1
利得	4+3	4+3	3+3(6)	3+3(6)
合計	64		64	

図14

【図15】

パラメータ	Coder J		Coder K	
LSP	1+7+4+4		1+7+4+4	
ピッチ	8	5	8	5
パリティ	1		1	
雑音符号帳	4+4	4+4	3+3+4	3+3+4
極性	1+1	1+1	1	1
利得	4+3	4+3	3+3(6)	3+3(6)
合計	64		64	

図15

【図16】

	誤り無し			誤り 0.1%	2T	切替
	-16	-26	-36			
G.729	—	3.78	—	—	—	—
G.723.1	—	3.66	—	—	—	—
24kbit/s ADPCM	2.72	2.65	2.65	2.40	2.27	2.89
6.4kbit/s	3.85	3.69	3.61	3.23	3.26	3.70

図16

This Page Blank (uspto)